



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL**

ADEILDO DE ASSIS COSTA JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS AO
LONGO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA-ES, 2018

ADEILDO DE ASSIS COSTA JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS AO
LONGO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientadora: Dra. Valéria da Silva Quaresma

Co-Orientador: Dr. Caio Vinícius GabrigTurbay

VITÓRIA-ES, 2018



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS AO LONGO DA
PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO**

por

Adeildo de Assis Costa Júnior

Aprovado por:

Prof. Dra. Valéria da Silva Quaresma
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Paulo Dias Ferreira Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo

Vitória, 29 de maio de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPES e a BRASOIL pelo financiamento do trabalho e por fornecerem a bolsa de estudo.

Agradeço a professora Valeria Quaresma e ao professor Caio Turbay pela excelente orientação e co-orientação respectivamente. Vocês foram essenciais para confecção deste trabalho. Agradeço também ao professor Alex Bastos por abrir as portas do Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO). Obrigado pela oportunidade.

Agradeço a minha família pelo total apoio, principalmente a Maria Tereza dos Santos Costa, a melhor mãe do mundo.

Agradeço a Suzana Maria Della Lucia por me apoiar em momentos difíceis e me ensinar que sempre há esperança. Para todos os problemas existe uma solução. Você é um exemplo a ser seguido.

Agradeço aos amigos que fiz no LABOGEO, em especial, Marcos Daniel, Geandré, Luquinhas, Evaristo, Dani, Fernanda e Kyssy. Cada um contribuiu de alguma forma para confecção desse trabalho.

Agradeço ao Luiz Eduardo (Baiano) pelos ensinamentos, pela generosidade e principalmente pela amizade.

Agradeço ao Geferson, Andressa, Beбето, Milena, Fabrício, Gabi e Allan pela amizade de longa data. Infeliz é a pessoa que não tem amigos, felizmente não é o meu caso.

Muito obrigado !

RESUMO

Os minerais pesados possuem densidade maior que $2,8 \text{ g/ cm}^3$, superior a do quartzo ($2,65 \text{ g/ cm}^3$) e aparecem como minerais acessórios em rochas sedimentares, ígneas e metamórficas. Os minerais pesados foram utilizados como ferramenta para o melhor entendimento dos processos sedimentares pretéritos e atuais da Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES). A área de estudo foi subdividida em 3 setores: Plataforma com Paleocanais, Plataforma do rio Doce e Plataforma de Abrolhos. Os sedimentos encontrados na PCES são siliciclásticos, biodetríticos e mistos distribuídos de forma peculiar respeitando as distintas características sedimentológicas regidas por regimes de acomodação e suprimento. Quinze espécies diferentes de minerais pesados foram identificadas na PCES: Ilmenita, limonita, sillimanita, zircão, turmalina, epidoto, monazita, hematita, magnetita, granada, estauroлита, rutilo, titanita, andaluzita e cianita. Os depósitos de minerais pesados com maiores concentrações encontram-se na Plataforma do rio Doce e Plataforma de Abrolhos, apresentando valores de teor máximo de 3,6%. Valores de índice ZTR (zircão, turmalina e rutilo) associados à interpretação de perfis batimétricos e conhecimentos geológicos sobre a PCES indicaram que os depósitos de minerais pesados mais expressivos são compostos por sedimentos relíquias oriundos, possivelmente, de transportes fluviais pretéritos associados ao rebaixamento relativo do nível do mar no Quaternário Tardio.

Palavras- chaves: Minerais Pesados, Plataforma Continental do Espírito Santo.

ABSTRACT

The heavy minerals have a density greater than 2,8 g/cm³, upper to that of quartz (2,65 g/ cm³) and appear as accessory minerals in sedimentary, igneous and metamorphic rocks. The heavy minerals were used as a tool to better understand the past and present sedimentary processes of the Continental Shelf of Espírito Santo (CSES). The study area was subdivided into 3 sectores: Paleovalley Shelf, Doceriver Shelf and Abrolhos Shelf. The sediments found in the CSES are siliciclastic, biotrititic and mixed distributed in a peculiar manner respecting the different sedimentological characteristics governed by accommodation and supply regimes. Fifteen different species of heavy minerals were identified in the CSES: Ilmenite, limonite, sillimanite, zircon, tourmaline, epidote, monazite, hematite, magnetite, grenade, stauroilite, rutile, titanite, andaluzita and kyanite. The deposits of heavy minerals with higher concentrations are found in the Doce river Shelf and Abrolhos Shelf, presenting values of maximum content of 3,6%. ZTR index values (zircon, tourmaline and rutile) associated with the interpretation of bathymetric profiles and geological knowledge on CSES have led us to believe that the most expressive heavy mineral deposits are composed of relict sediments possibly from past river transport associated with the relative lowering of sea level in the Late Quaternary.

Keywords: Heavy Minerals; Continental shelf of Espírito Santo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa Geológico Simplificado do Espírito Santo -----	4
Figura 2- Subdivisão da PCES de acordo com a morfologia e comportamento sedimentar-----	7
Figura 3- Mapa das fácies sedimentares da PCES. Modificado-----	9
Figura 4- Mapa amostral e identificação dos transectos separados por áreas-----	11
Figura 5- Imagens das diferentes espécies de minerais pesados encontradas na PCES-----	14
Figura 6- Porcentagem de cada espécie de minerais pesados identificado em toda a PCES-----	15
Figura 7- Mapa de teor dos minerais pesados (fração areia) na PCES-----	17
Figura 8- Distribuição e concentração dos minerais pesados em cada setor da PCES-----	19
Figura 9- Mapa de maturidade mineralógica dos depósitos de minerais pesados atribuídos aos valores do índice ZTR-----	21
Figura 10- Valores das médias do índice ZTR, zircão, turmalina e rutilo de cada setor da PCES-----	23
Figura 11- Perfis batimétricos correspondentes ao transectos 5 e 7 relacionado ao mapa de teor de minerais pesados da PCES-----	26
Figura 12- Comparação entre o mapa de teor de minerais pesados na PCES e mapa de valores de índice ZTR na PCES-----	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO-----	1
1.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DO ESPÍRITO SANTO-----	2
1.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO-- -----	5
1.3 PLATAFORMA CONTINENTAL-----	5
1.3.1 CARACTEÍSTICAS MORFOLÓFICAS E SEDIMENTARES DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)-----	6
1.3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS FÁCIES SEDIMENTARES DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)-----	8
2. OBJETIVOS-----	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS-----	10
4. RESULTADOS-----	12
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS MINERAIS PESADOS-----	15
4.2 TEORES DE MINERAIS PESADOS ENCONTRADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)-----	16
4.3 DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)-----	18
4.4 ANÁLISE DE MATURIDADE MINERALÓGICA DOS DEPÓSITOS DE MINERAIS PESADOS-----	20
5. DISCUSSÃO-----	24
5.1 PLATAFORMA COM PALEOCANAIS-----	25
5.2 PLATAFORMA DO RIO DOCE-----	28
5.3 PLATAFORMA DE ABROLHOS-----	32
6. CONCLUSÕES-----	33

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	35
8. ANEXOS-----	41

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho trata-se da caracterização e distribuição espacial dos minerais pesados ao longo de toda Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES). Os minerais pesados são aqueles que possuem a densidade maior que $2,8 \text{ g/cm}^3$, valor superior à densidade do quartzo correspondente a $2,65 \text{ g/cm}^3$ e apresentam-se como minerais acessórios em rochas sedimentares, ígneas e metamórficas (Bates e Jackson, 1980; Suguio, 2003). Esses minerais se desagregam das rochas devido à ação do intemperismo físico e químico, em seguida, esses grãos são submetidos ao transporte superficial por meio aquoso ou eólico. Os minerais pesados são divididos em dois grupos em função de seu comportamento em relação à incidência de luz; Opacos e transparentes. Os opacos são constituídos principalmente pelos óxidos e sulfetos e os transparentes englobam em sua maioria os silicatos (Dias, 2004).

Esses minerais geralmente não perfazem concentrações expressivas nos depósitos sedimentares, porém há exceções. Os placeres são depósitos sedimentares que apresentam concentração acima de 1% de minerais pesados (Palma, 1979). Quando localizados em regiões litorâneas são denominados de placeres marinhos e podem apresentar relevância econômica (Silva, 2001).

A gênese dos placeres marinhos tem íntima relação com transporte sedimentar terrígeno, oscilação do nível relativo do mar e ações hidrodinâmicas de ondas e correntes sobre os depósitos costeiros (Silva, 2001). Exploração dos minerais pesados relacionados aos placeres marinhos ocorre em diversos países, como por exemplo, Canadá, China, EUA, entre outros (Van Gosen et al. 2014). No Brasil esse tipo de depósito encontra-se em diversas regiões litorâneas, tendo como exemplo, praias do estado da Bahia, Rio de Janeiro, Espírito Santo (Silva, 2001). No Espírito Santo, mais precisamente nas praias de Guarapari, há acúmulo expressivo de minerais pesados, principalmente ilmenita, monazita e zircão (Tesch, 1984).

Além da importância econômica, os minerais pesados podem ser utilizados como instrumentos para diversos estudos de cunho geológico. Estudos de proveniência, transporte, dispersão sedimentar e identificação de paleoambiente são exemplos da aplicabilidade acadêmica desses minerais

(Pettijohn, 1957; Tomazelli, 1978). Trabalhos recentes foram confeccionados utilizando minerais pesados como ferramentas para auxiliar o entendimento dos padrões sedimentares para a melhor compreensão dos aspectos geológicos em plataformas continentais (Vital et al. 2000; Li et al. 2015; Qin et al. 2018).

1.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DO ESPÍRITO SANTO

As rochas que compõem o domínio do embasamento cristalino inserem-se na Província Estrutural Mantiqueira, mais precisamente na Faixa Araçuaí. Esse sistema orogênico foi desenvolvido durante o Ciclo Geodinâmico Brasileiro (Almeida, 1977; Heilbron et al. 2004), sendo formada em sua maioria por terrenos metassedimentares de alto grau, com evidentes presenças de ortopiroxênio, cordierita, sillimanita e espinélio (hercinita), além de granitos intrusivos pré, *sin*, *tardi* e pós-colisionais.

No intuito de sintetizar os aspectos geológicos do Espírito Santo, foi confeccionado o mapa tectônico de escala 1:400.000 (Figura 1). Foram estabelecidos 4 segmentos tectônicos distintos; O primeiro segmento refere-se a Cobertura Cenozóica relacionadas aos depósitos aluvionáres, litorâneos, marinhos, detrito-laterítico, e ignimbritos (CPRM, 2013). Os depósitos Cenozoicos mais expressivos são representados pelo Grupo Barreiras e por sedimentos Quaternários (Silva et al. 1987; CPRM, 2004). O Grupo Barreiras é constituído por arenitos e lamitos com elevada ferruginização associada. Já os depósitos Quaternários são representados por sedimentos de cunho continental e marinho. A planície de sedimentação relacionada à foz do rio Doce é o depósito Quaternário mais expressivo (Martin et al. 1997; Oliveira et al. 2015).

O segundo segmento está relacionado com os granitos intrusivos dos tipos I, S e C de origem pré, *sin*, *tardi* e pós-colisionais. Dá-se o nome a esse segmento de Granitogênese do Órogeno Araçuaí (CPRM, 2013).

O terceiro segmento refere-se às Bacias Sedimentares Proterozóicas. A Bacia de Retroarco engloba os Grupos Fidélis, Italva e o Complexo Nova Venécia. Os litotipos que compõem o Complexo Nova Venécia são os

paragneisses intercalados com rochas calcissilicáticas e anfibolitos; A bacia de Margem Passiva apresenta o Complexo Jequitinhonha representado pelos gnaisses kinzigíticos, biotita gnaiss e lente de quartzito; A Bacia de Antearco é composta pelo Grupo Bom Jesus do Itabapoana, cujos litotipos são constituídos por granada-biotita gnaisses, anfibólio-biotita gnaiss, mármore dolomítico e quartzito. A Unidade Raposo também está inserida na Bacia de Antearco, representadas pelo gnaiss kinzigítico (CPRM, 2013).

O quarto segmento é composto pelos fragmentos de crosta inferior. Os litotipos que compõem os Complexos Caparaó, Serra do Valentim e Juiz de Fora são charnockitos, enderbitos, granulitos aluminosos, kinzigitos e ortogranulitos que correspondem o embasamento Paleoproterozóico retrabalhado no Ciclo Geodinâmico Brasileiro. O Complexo Ipanema possui associação com as rochas metavulcanossedimentares de idade Paleoproterozóica com a presença de biotita-granada gnaiss, gnaiss milonítico e freqüentes corpos de metaultrabásicas (CPRM, 2013).

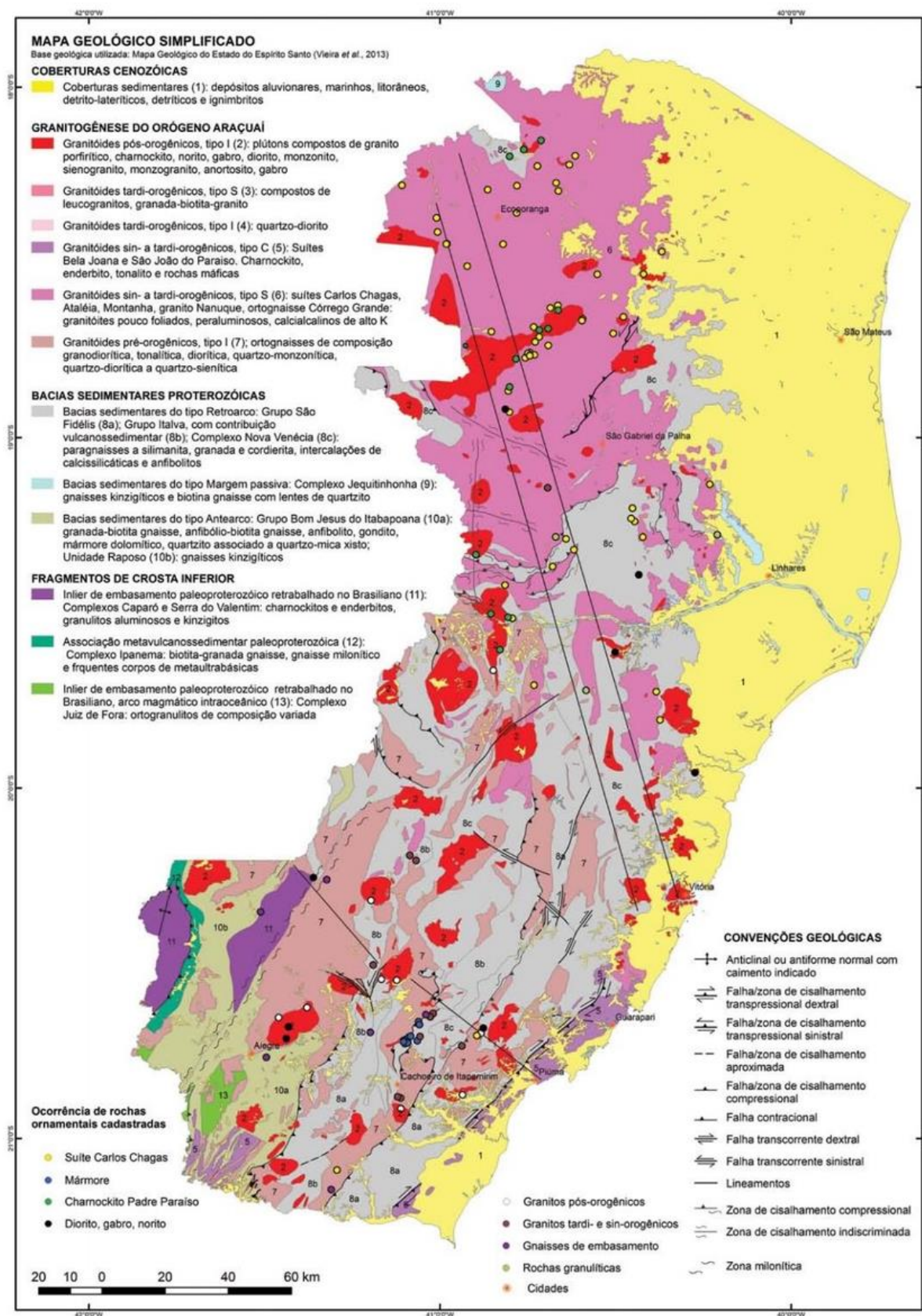


Figura 1: Mapa Geológico Simplificado do Espírito Santo (CPRM, 2013).

1.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO

Em termos geomorfológicos, o litoral capixaba divide-se em três unidades distintas. Embasamento composto por rochas do Pré-Cambriano; Planícies costeiras associadas a depósitos quaternários; Depósitos Terciários, em forma de tabuleiro, correspondentes ao Grupo Barreiras (Martin et al. 1996). As unidades supracitadas se distribuem de forma heterogênea. Na região central, o embasamento rochoso Pré-Cambriano encontra-se em contato abrupto com depósitos quaternários. Já no setor norte e sul, as falésias afloram (vivas ou mortas), caracterizando os depósitos Terciários correspondentes ao Grupo Barreiras (Albino et al. 2006).

1.3 PLATAFORMA CONTINENTAL

A plataforma continental localiza-se na região entre a atual linha de costa até a quebra da mesma, apresentando características morfológicas distintas de acordo com os processos geológicos, entre eles, aporte de sedimentos, tectonismo e variação relativa do nível dos mares (Tessler e Mahiques, 2001).

As ondas e marés são agentes importantes de transporte sedimentar. O sedimento ao adentrar a plataforma continental é remobilizado pela força das ondas em áreas mais rasas, próximas à linha de costa (Voulgaris e Collins, 2000). Enquanto em áreas mais distantes da linha de costa os sedimentos são transportados por ação das marés (Gao e Collins, 2014).

A classificação das plataformas continentais pode ser efetuada de acordo com o tipo de sedimentação dominante. Caso haja um significativo aporte sedimentar de origem terrígena, dá-se o nome de Plataforma Siliciclástica (Johnson e Baldwin, 1996). Quando aporte sedimentar terrígeno não é efetivo, há o favorecimento de proliferação de organismos com exoesqueletos calcários, carapaças, conchas, etc. Neste caso, a classificação adequada é Plataforma Carbonática (Tucker e Wright, 1990). Existe também a Plataforma Mista, onde sedimentos terrígenos e carbonáticos coexistem (Mount, 1984).

O regime sedimentar que rege a plataforma continental também é um parâmetro de classificação. Podem apresentar um padrão de acomodação ou de suprimento (Swift e Thorne, 1991; Catuneanu, 2006). O padrão de acomodação está diretamente relacionado com a retrogradação da linha de costa, em outras palavras, quando o mar “adentra” ao continente devido à subida relativa do nível do mar ou baixo aporte sedimentar terrígeno. Já o padrão de suprimento ocorre quando há progradação da linha de costa, ou seja, o nível relativo do mar diminui e a linha de costa “avança” em direção ao mar devido à alta taxa de sedimentação terrígena (Catuneanu, 2006).

A variação do nível do mar é um fator que influencia no tipo de morfologia de fundo. A morfologia de fundo também está relacionada com o regime sedimentar vigente na plataforma continental e sua largura (Gao e Collins, 2014). Plataformas largas geralmente apresentam elevado espaço de acomodação, em contrapartida, plataformas estreitas possuem menor espaço de acomodação.

Durante o Quaternário tardio, as oscilações do nível relativo do mar tiveram íntima relação com a variação climática (Lisitzin, 1974). No período glacial o nível relativo do mar baixou aproximadamente 65 metros se comparado ao nível de base atual, resultado da regressão marinha (Dominguez et al. 2013). Quando ocorre essa situação, a plataforma continental fica exposta e sujeita a maiores deposições sedimentares principalmente relacionados a depósitos fluviais e retrabalhamento da linha de costa. Em contrapartida, em períodos mais quentes o nível relativo do mar aumenta devido ao degelo, caracterizando uma transgressão marinha.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E SEDIMENTARES DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)

A Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES) localiza-se na margem leste brasileira. A PCES é mais larga na porção norte chegando até 240 km. Na região central e sul, atinge no máximo 60 km (Bastos et al. 2015).

A PCES apresenta sedimentação mista (Bastos et al. 2015; Quaresma et al. 2015), isto é, sedimentos alóctones (terrígenos) e autóctones

(carbonáticos) coexistentes. A PCES é subdividida em três setores distintos de acordo com a morfologia de fundo e comportamento sedimentar: Plataforma com paleocanais, Plataforma do rio Doce e Plataforma de Abrolhos (Bastos et al. 2015) (Figura 2).

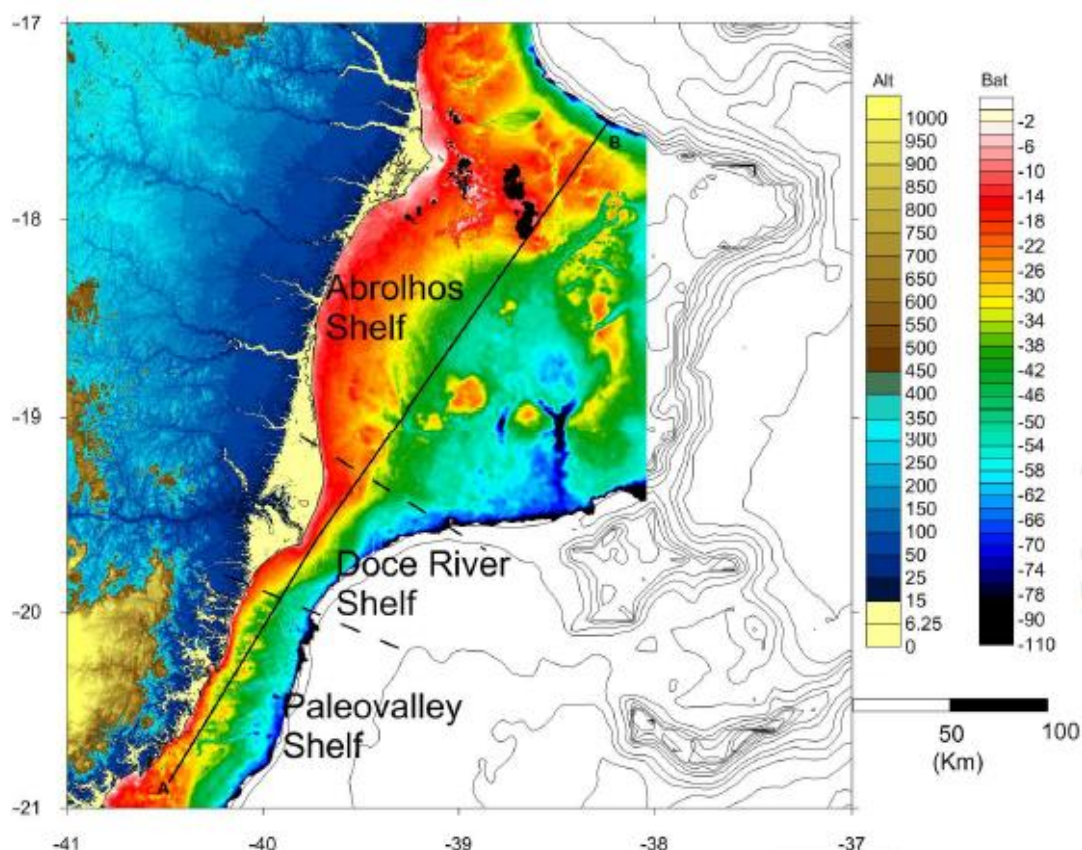


Figura 2: Subdivisão da PCES de acordo com a morfologia e comportamento sedimentar (Bastos et al. 2015).

Plataforma com Paleocanais

Este setor situa-se ao sul da Plataforma do Rio Doce. O regime sedimentar vigente é o de acomodação caracterizado pelo baixo aporte sedimentar terrígeno, resultando num significativo preenchimento de sedimentos biotécnicos, principalmente em maiores profundidades. A morfologia de fundo é irregular e a presença de paleocanais foi evidenciada perpendicular à linha de costa e foram nomeados como Paleocanal de Vitória e Paleocanal de Guarapari. Os estuários também foram identificados nesta região justamente devido às características sedimentológicas supracitadas, tendo como maior exemplo o sistema estuarino do Piraquê-Açu (Bastos et al. 2015).

Plataforma do rio Doce

Este setor localiza-se entre o norte da Plataforma com Paleocanais e ao sul da Plataforma de Abrolhos. Caracteriza-se o regime de suprimento influenciado pelo alto *input* sedimentar terrígeno associado ao lobo deltaico do rio Doce. Há uma maior quantidade de sedimento terrígeno se comparado com sedimentos biotécnicos. A morfologia de fundo apresenta característica regular, associada à progradação da linha de costa devido ao aporte sedimentar terrígeno do rio Doce (Bastos et al. 2015).

Plataforma de Abrolhos

Este setor localiza-se ao norte da Plataforma do rio Doce. Apresenta uma complexa interação entre sedimentos terrígenos e carbonáticos (Bastos et al. 2015). Vale destacar que apenas a porção sul da Plataforma de Abrolhos foi analisada neste trabalho, limitando-se ao litoral capixaba.

1.3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS FÁCIES SEDIMENTARES DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)

A PCES apresenta uma complexa interação entre sedimentos de origem terrígena e carbonática. No total, 12 fácies sedimentares distintas foram identificadas: Areia grossa terrígena, areia fina terrígena, lama terrígena, cascalho carbonático, areia grossa carbonática, lama carbonática, areia grossa mista, areia fina mista, lama mista, estruturas recifais e fundos de rodolitos (Vieira, 2017) (Figura 3). A relação espacial entre essas fácies são diferentes em cada segmento da plataforma, respeitando particularidades do comportamento sedimentar que cada área apresenta.

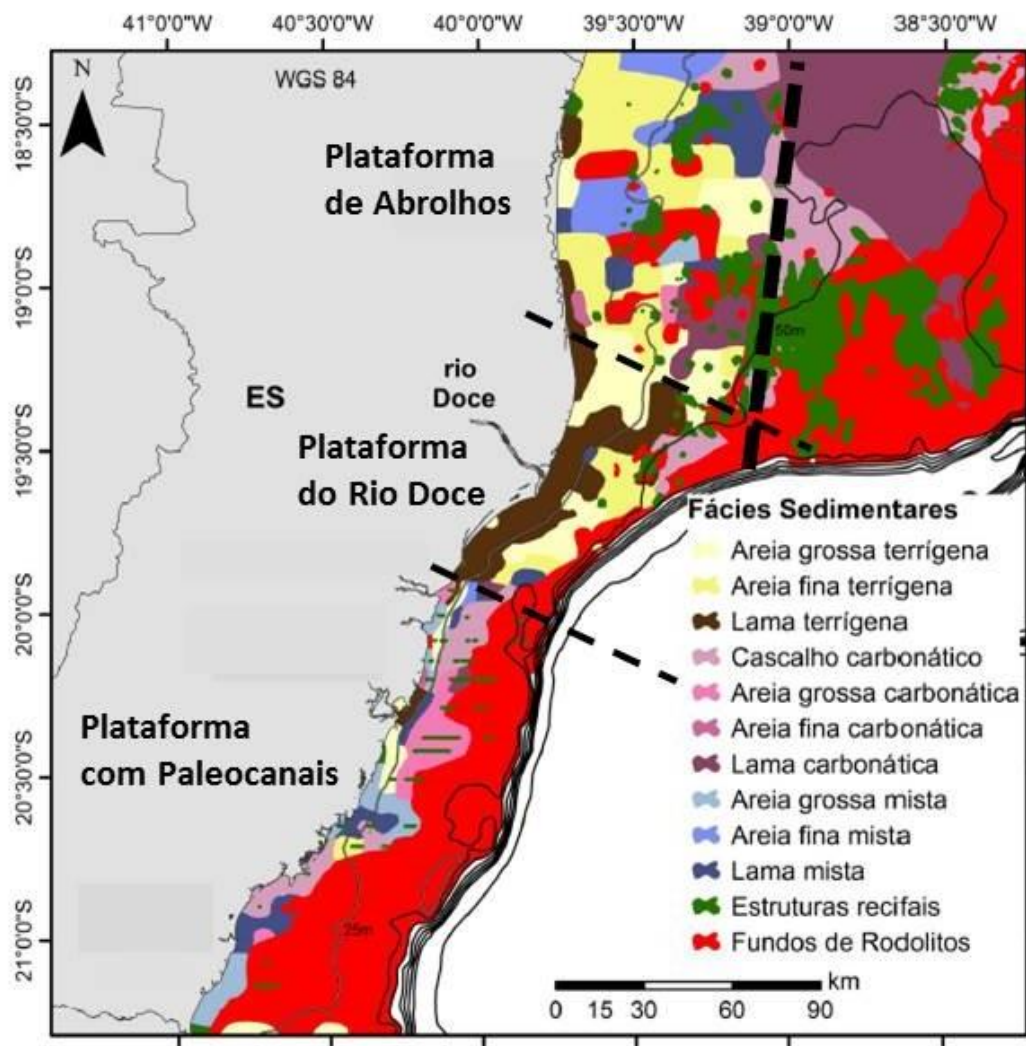


Figura 3: Mapa das fácies sedimentares da PCES. Modificado. (Vieira, 2017).

Plataforma com Paleocanais

Os sedimentos autóctones de origem carbonática são predominantes, principalmente em profundidades maiores do que 25 metros. Os rodolitos representam os maiores depósitos sedimentares neste segmento da plataforma. Além dos rodolitos, foram identificadas as estruturas recifais, cascalhos, lamas e areias carbonáticas. Próximo à linha de costa atual, se depositam lama e areia de origem terrígena e mista (Vieira, 2017).

Plataforma do rio Doce

Os sedimentos alóctones de origem terrígena são predominantes nesse setor da plataforma. As lamas e areias terrígenas estão depositadas em profundidades variadas chegando até 50 metros. Próximo à quebra da plataforma, as fácies sedimentares carbonáticas mapeadas foram os fundo de

rodolitos, estruturas recifais e cascalhos. A lama mista foi identificada em pequenas proporções (Vieira, 2017).

Plataforma de Abrolhos

Nesse setor da plataforma não há um padrão batimétrico de deposição entre sedimentos terrígenos, carbonáticos e mistos. Há uma complexa relação espacial entre as diversas fácies sedimentares. Foram mapeados areias e lamas de origem terrígena e mista. Os sedimentos de origem carbonática são representados pelos rodolitos, estruturas recifais, lamas, areias, cascalhos (Vieira, 2017).

2. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi interpretar a origem e os processos sedimentares a partir da análise das diferentes espécies de minerais pesados catalogadas ao longo da PCES. Para tal, foram estabelecidas metas como Identificar as diferentes espécies de minerais pesados presentes ao longo da PCES; Definir o grau de maturidade mineralógica dos depósitos desses minerais; Avaliar a influência da geologia costeira na distribuição dessas assembleias mineralógicas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades de campo foram realizadas entre os meses de outubro e dezembro de 2015. No total, 180 pontos amostrais foram coletados com auxílio do equipamento de amostragem de fundo Van Veen. Os pontos amostrais foram organizados em 20 transectos, sendo que, em cada transecto foram coletadas 9 amostras. A batimetria foi utilizada para padronizar as coletas, em todos os transectos a amostragem começa aos 10 metros de profundidade e termina aos 50 metros, variando 5 metros de um ponto ao outro. Dentre os 180 pontos amostrais, 103 apresentaram concentração de minerais pesados. Foram realizados 10 transectos na Plataforma com Paleocanais (TR1 ao TR10), 5 transectos na Plataforma do Rio doce (TR11 ao TR15) e 5 transectos na Plataforma de Abrolhos (TR16 ao TR20) (Figura 4).



Figura 4: Mapa amostral e identificação dos transectos separados por áreas.

Após a fase de coleta, as amostras foram processadas no laboratório de sedimentologia da Universidade Federal do Espírito Santo. Todas as amostras foram lavadas para retirada do sal, após a secagem, os sedimentos foram submetidos ao processo de separação de areia e lama. Para confecção desse trabalho utilizou-se somente a fração areia fina a média. Na próxima etapa, foi efetuada a queimado carbonato de cálcio e da matéria orgânica dos sedimentos arenosos, para tal, foram utilizados o ácido clorídrico (HCl) e o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) respectivamente. A separação dos minerais

leves e pesados foi realizada pelo método gravitacional, com auxílio do líquido denso bromofórmio.

Os minerais pesados foram descritos e identificados com auxílio da lupa binocular. Após a homogeneização, 300 grãos foram identificados de forma aleatória para cada ponto amostral (GaleHouse, 1971). Vale ressaltar que alguns pontos amostrais não apresentaram 300 grãos de minerais pesados. Nesta ocasião, foram contabilizados todos os minerais pesados contidos na amostra, seguindo a metodologia supracitada. As análises foram realizadas em porcentagem, evitando assim o ruído das variações na abundância de grãos nos resultados.

A fim de calcular e avaliar a maturidade mineralógica dos depósitos de minerais contidos na PCES foi levado em consideração os valores do índice ZTR (Hubert, 1962). A sigla ZTR é correspondente ao zircão, turmalina e rutilo. Os três minerais são classificados como ultra-estáveis (Pettijohn et al. 1973). Esse índice é calculado pela soma equivalente a quantidade de zircão, turmalina e rutilo contidos nas rochas e/ ou depósitos sedimentares divididos pelo total de minerais transparentes identificados, multiplicado por 100. O resultado da equação, dado em porcentagem, pode ser interpretado da seguinte forma: Valores de índice ZTR acima de 75 % equivalem a depósitos mineralógicamente maduros e valores abaixo de 75% correspondem a depósitos imaturos (Suliman et al. 2015).

Os perfis batimétricos foram confeccionados com auxílio do perfilador de sub-fundo, modelo Stratabox, com frequência de aquisição de 3,5 khz. Todos os mapas contidos nesse trabalho foram confeccionados no *software* ArcGis 10.1.

4. RESULTADOS

De forma geral, 15 espécies distintas de minerais pesados foram encontradas em toda a PCES (Figura 5), sendo que, 11 dessas compõem o grupo dos transparentes e 4 perfazem o grupo dos opacos. Os minerais pesados transparentes catalogados foram: zircão, turmalina, rutilo, epidoto, sillimanita, monazita, estaurolita, titanita, granada, cianita e andaluzita. Os

minerais opacos identificados são: Ilmenita, magnetita, limonita e hematita. Apesar da maior variedade de espécies, os minerais transparentes encontram-se em menor quantidade se comparado aos opacos. Ilmenita é o mineral pesado mais abundante que compõe a plataforma, perfazendo 51,3%, seguido da limonita (10,4%), sillimanita (9,2%), zircão (6,1%), turmalina (5,3%), epidoto (4,1%), monazita (2,9%), hematita (2,6%), magnetita (1,9%), granada (1,7%), estaurolita (1,3%), rutilo (1,2%), titanita (1,0%), andaluzita (0,7%) e cianita (0,5%) (Figura 6).

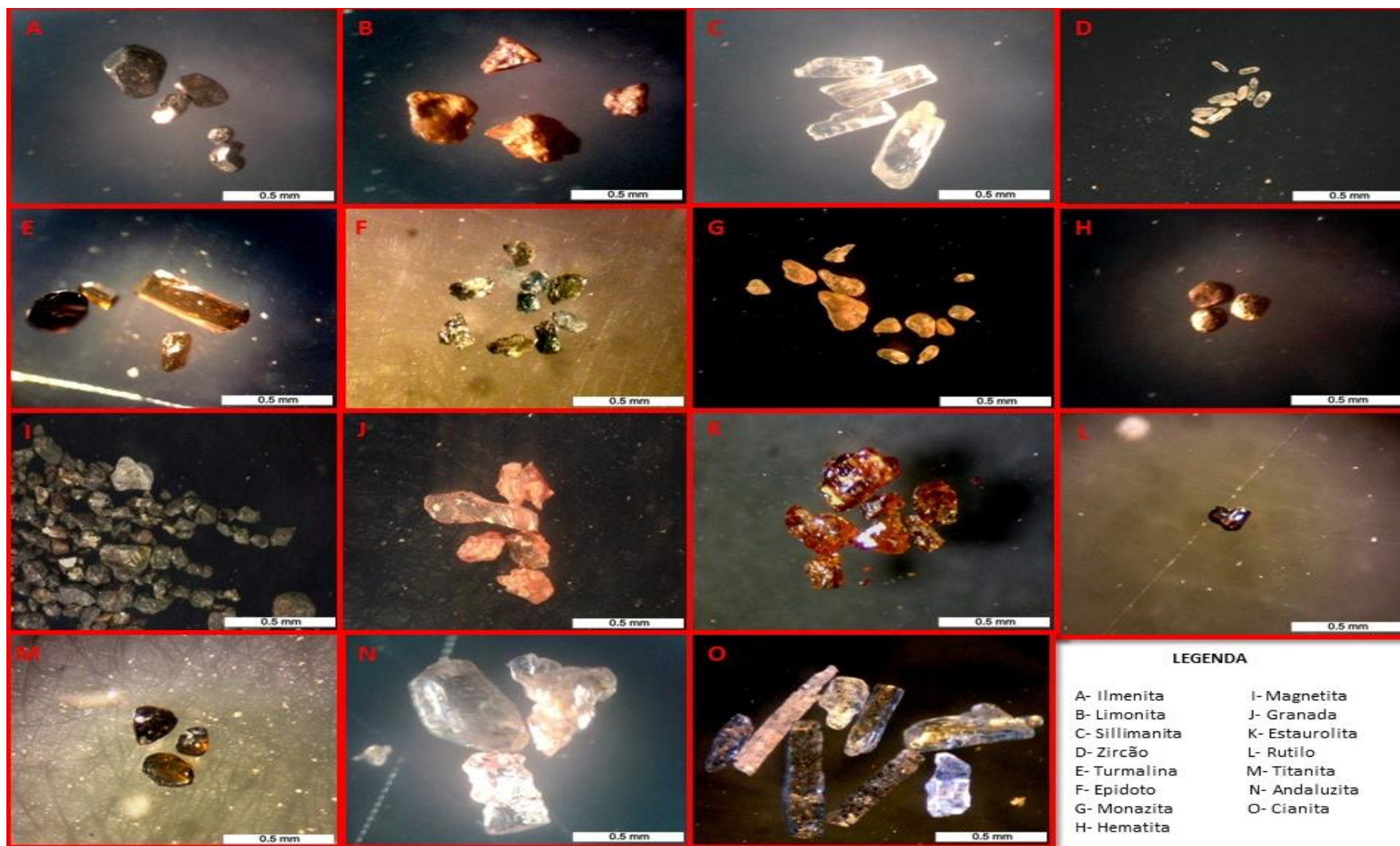


Figura 5: Imagens das diferentes espécies de minerais pesados encontradas na PCES.

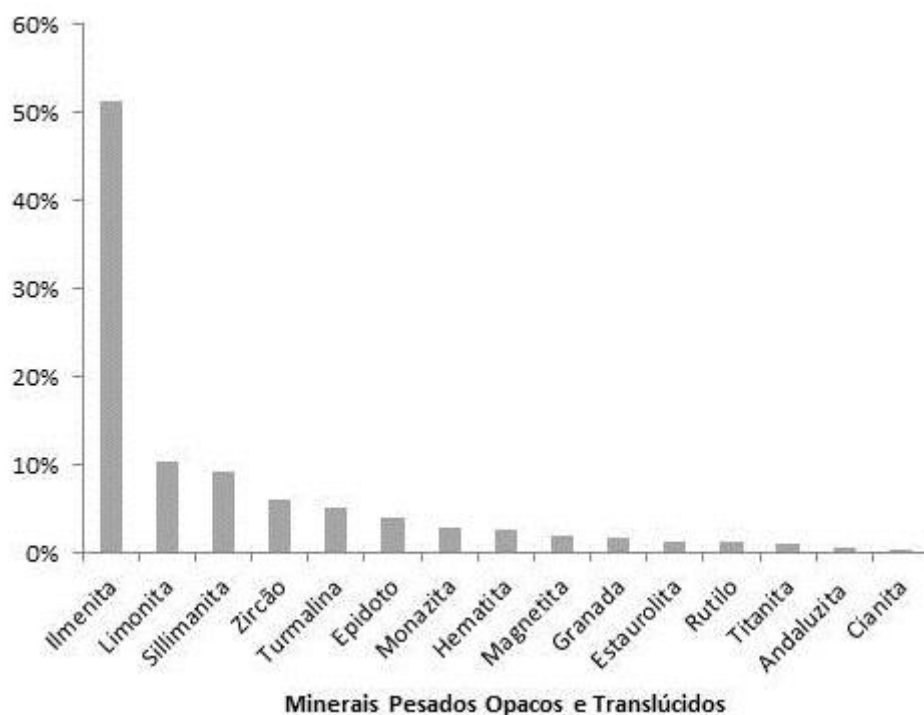


Figura 6: Porcentagem de cada espécie de minerais pesados identificado em toda a PCES.

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS MINERAIS PESADOS

Com auxílio da lupa binocular, os minerais pesados foram submetidos à análise descritiva no intuito de auxiliar a caracterização e consequentemente a identificação:

- Ilmenita: Coloração preta. Possui brilho metálico, formato romboédrico achatado. Brilho mais intenso se comparado com o da hematita.
- Limonita: Coloração vermelha e marrom. Possui brilho terroso, formato maciço.
- Sillimanita: Coloração branca, amarela e por vezes incolor. Possui brilho vítreo e formato de prisma alongado.
- Zircão: Coloração branca, rosa, amarelo e por vezes incolor. Possui brilho adamantino, hábito prismático com extremidade em forma de pirâmide.
- Turmalina: Coloração marrom, preta e verde. Possui brilho vítreo. Hábito prismático.

- Epidoto: Coloração verde. Possui brilho vítreo. Por vezes apresenta fratura conchoidal.
- Monazita: Coloração amarela. Possui brilho vítreo.
- Hematita: Coloração preta. Possui brilho metálico. Brilho menos intenso se comparado com o da ilmenita.
- Magnetita: Coloração preta e cinza. Brilho metálico, forte atração magnética, separada com imã de mão.
- Granada: Coloração rosa. Possui brilho vítreo. Fraturas côncavas, por vezes não apresentam formas definidas.
- Estaurolita: Coloração amarela alaranjada com inclusões escuras. Possui brilho vítreo.
- Rutilo: Coloração vermelha, prismático, por vezes encontra-se com geminação em forma de coloração. Possui brilho submetálico.
- Titanita: Coloração marrom. Possui brilho adamantino.
- Andaluzita: Coloração rosa. Possui brilho vítreo.
- Cianita: Coloração azul e cinza escuro, com inclusões escuras. Possui brilho vítreo, hábito alongado bem preservado, clivagem irregular.

4.2 TEORES DE MINERAIS PESADOS ENCONTRADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)

Os teores de minerais pesados foram calculados para cada ponto amostral. O teor é estabelecido de acordo com a porcentagem equivalente de minerais pesados, nas frações areia fina a média, em relação ao peso total da amostra. Os valores variam de 0,0 a 3,6% em toda PCES (Figura 7).

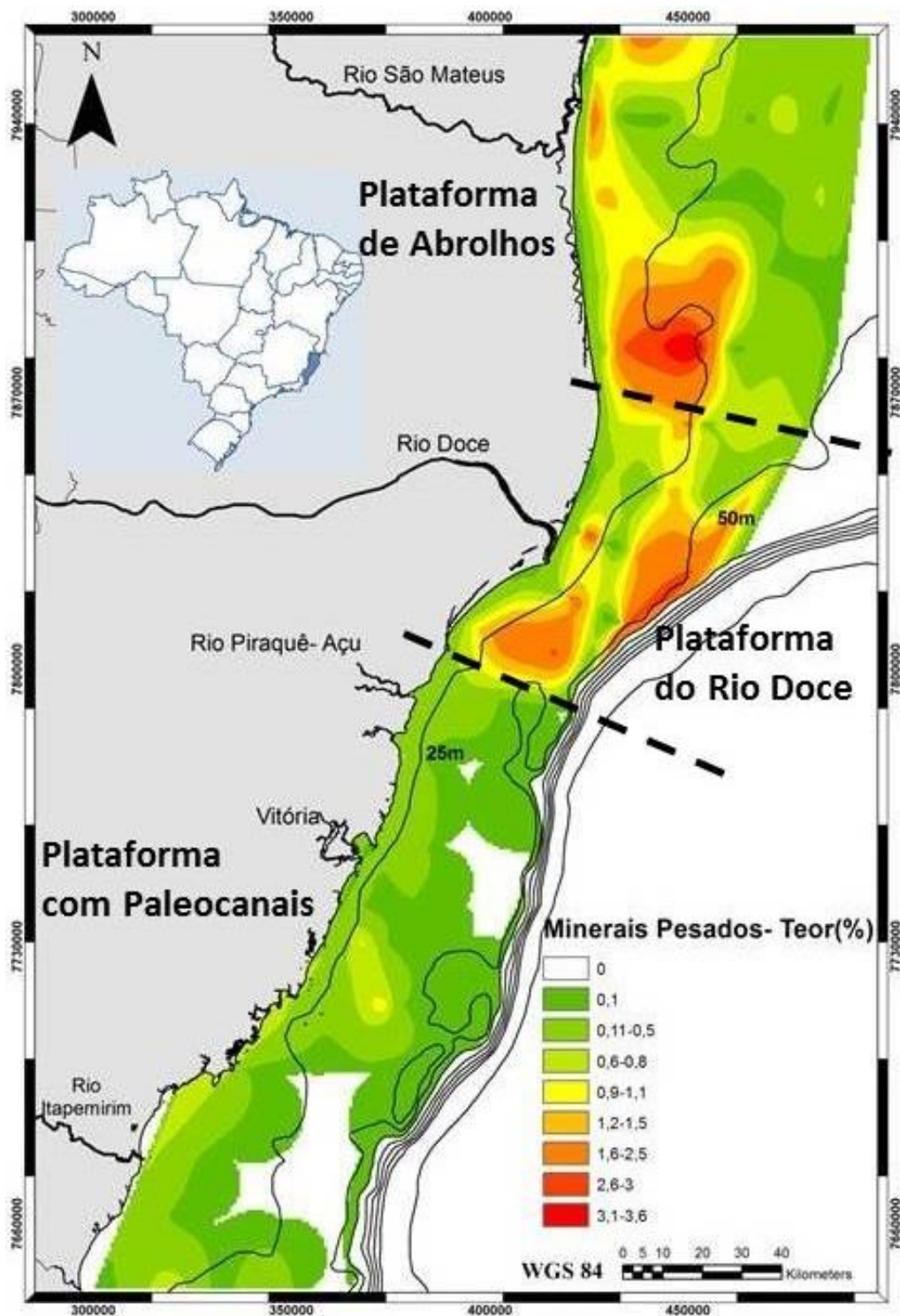


Figura 7: Mapa de teor dos minerais pesados (fração areia fina a média) na PCES.

Plataforma com Paleocanais

Nessa porção da PCES encontram-se os menores teores de minerais pesados na fração areia. Seus valores variam entre 0 a 1,1%. Próximo à linha de costa, a concentração desses minerais chega até 0,8%. Mais distantes da

linha de costa ocorrem depósitos de minerais pesados isolados, com teores de minerais pesados de até 1,1%.

Plataforma do Rio Doce

Depósitos de minerais pesados variam de 0,1 até 3,0%. As maiores concentrações foram registradas em profundidades maiores que 25 metros, por vezes, próximo à quebra da plataforma.

Plataforma de Abrolhos

Esse setor apresenta as maiores concentrações de minerais pesados em toda a PCES. Valores variam de 0,1 a 3,6%. Os acúmulos mais expressivos estão depositados entre 10 e 30 metros de profundidade. No extremo norte da área, depósitos de até 3% de teor de minerais pesados foram identificados próximos à linha de costa atual.

4.3 DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO (PCES)

Foram catalogados 25.785 grãos de minerais pesados em toda a PCES. Para melhor entendimento da distribuição espacial, levou-se em consideração a porcentagem de cada espécie de minerais pesados encontradas nos diferentes setores da PCES (Figura 8).

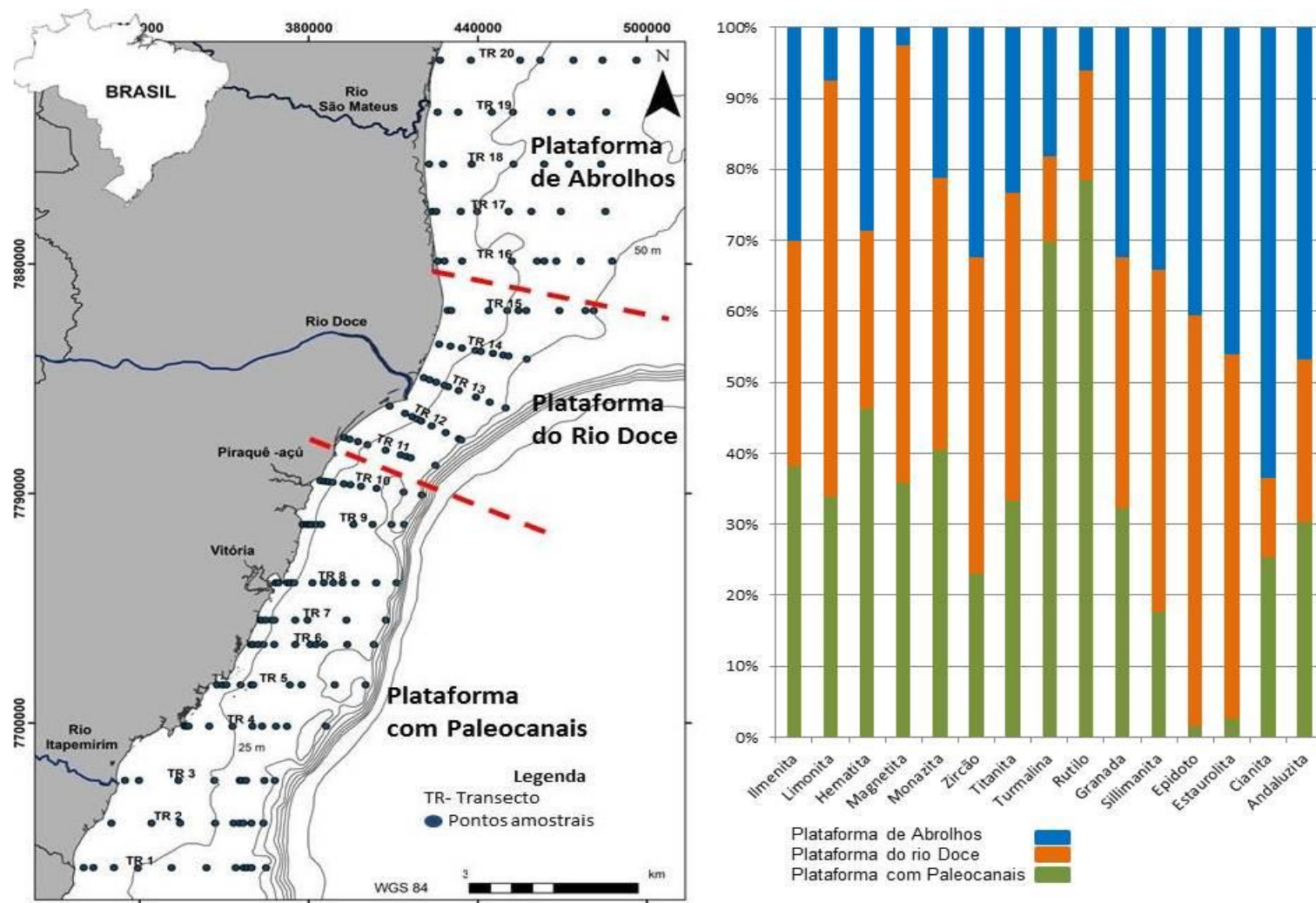


Figura 8: Distribuição e concentração dos minerais pesados em cada setor da PCES.

Plataforma com Paleocanais

Nesse setor da PCES, os minerais pesados dominantes são a ilmenita (N= 5049, 38%), hematita (N= 307, 46%), monazita (N= 635, 40%), turmalina (N= 522, 70%) e rutilo (N= 338, 78%).

Plataforma do rio Doce

Nesse setor, destacam-se a limonita (N= 1567, 59%), magnetita (N= 304, 62%), zircão (N= 608, 45%), titanita (N= 135, 43%), granada (N= 843, 35%), sillimanita (N= 507, 48%), epidoto (N= 189, 58%) e estauroлита (N= 60, 51%).

Plataforma de Abrolhos

Nesse setor, há uma maior predominância de cianita (N= 108, 64%) e andaluzita (N= 120, 47%) se comparado aos demais setores da PCES.

4.4 ANÁLISE DE MATURIDADE MINERALÓGICA DOS DEPÓSITOS DE MINERAIS PESADOS

A análise de maturidade mineralógica dos depósitos de minerais pesados foi estabelecida a partir da interpretação do índice ZTR. Esses valores apresentam-se de forma heterogênea na PCES, com valores mínimos de 7% e máximos de 77%. (Figura 9). Vale destacar a heterogeneidade desses valores em toda área de estudo. Na Plataforma com Paleocanais, os depósitos com maior maturidade mineralógica se apresentam de forma pontual, sem conectividade lateral. A Plataforma do rio Doce e a Plataforma de Abrolhos possuem depósitos com valores mais expressivos de índice ZTR e apresentam conectividade lateral.

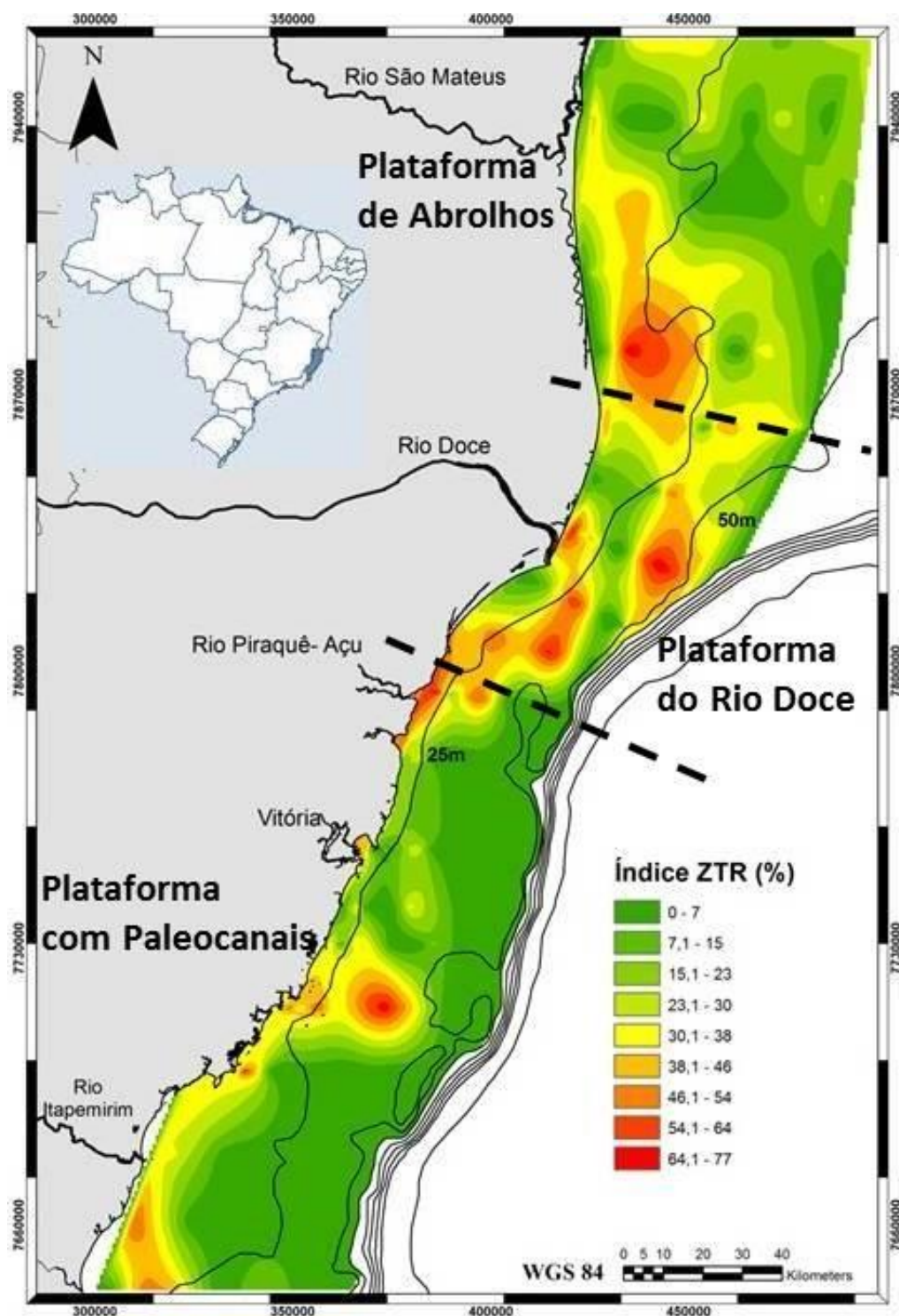


Figura 9: Mapa de maturidade mineralógica dos depósitos de minerais pesados atribuídos aos valores do índice ZTR.

Plataforma com Paleocanais

Nesse setor da PCES, a média dos valores do índice ZTR é de 37,3% ($\pm 19,22$). A média de zircão é de 21,8% ($\pm 16,8$), a de turmalina é 11,3% ($\pm 16,2$) e a do rutilo é de 4,2% ($\pm 6,2$) (Figura 10).

Plataforma do rio Doce

Na Plataforma do rio Doce, a média dos valores do índice ZTR equivale a 41,2% ($\pm 17,9$). A média de zircão é de 17,8% ($\pm 11,5$), a de turmalina é 17,6% ($\pm 8,3$) e a do rutilo é de 5,8% (± 17) (Figura 10).

Plataforma de Abrolhos

Na Plataforma de Abrolhos a média dos valores do índice ZTR é de 33,5% ($\pm 7,7$). A média de zircão é de 13,2% ($\pm 6,5$), a de turmalina é de 17,3% ($\pm 2,6$) e a do rutilo é de 3,0% ($\pm 11,5$) (Figura 10).

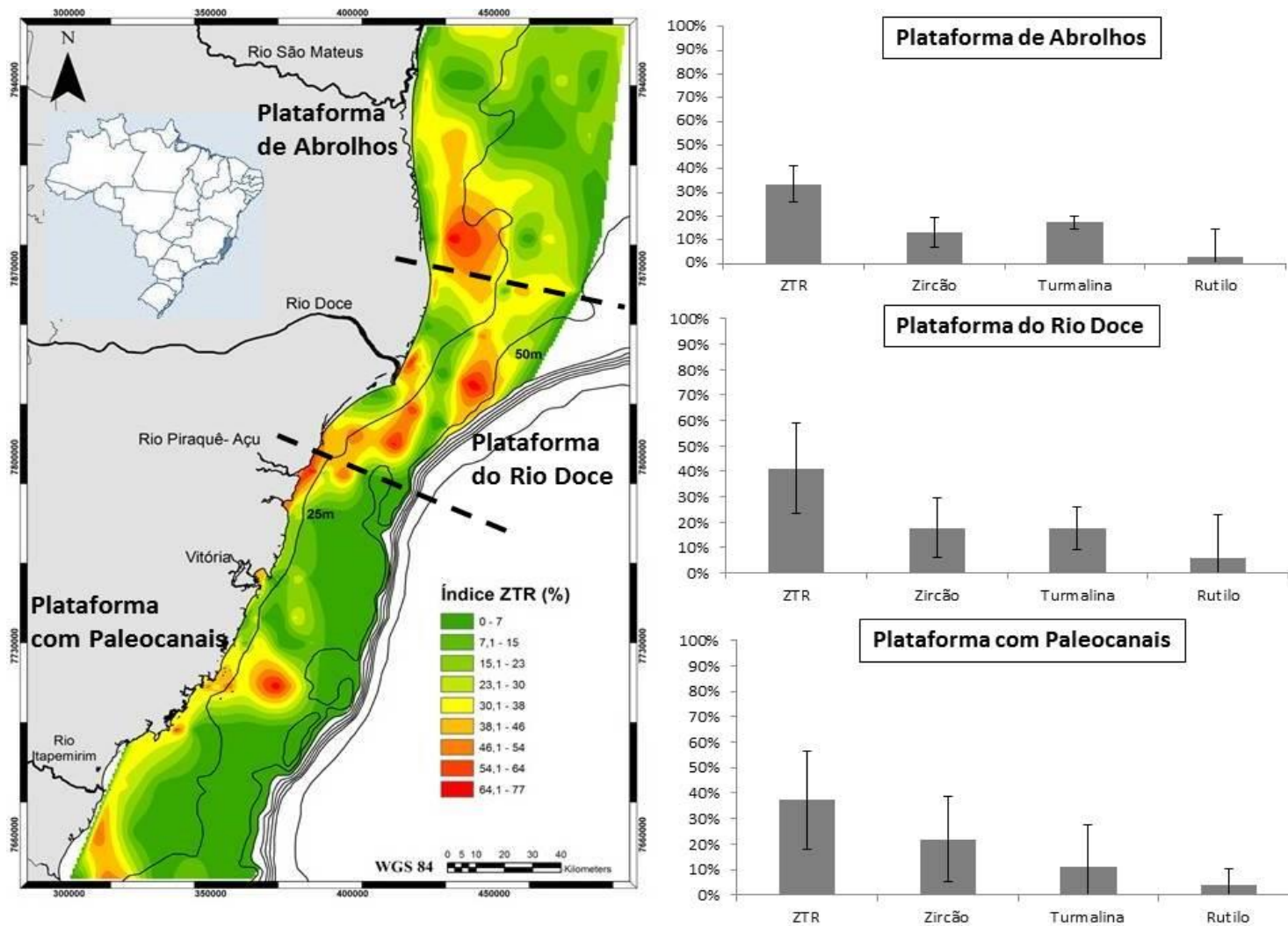


Figura 10: Valores das médias do índice ZTR, zircão, turmalina e rutilo de cada setor da PCES.

5. DISCUSSÃO

O conhecimento dos diferentes litotipos que perfazem a região adjacente à plataforma continental é essencial para a compreensão das assembleias de minerais pesados formadas nesse ambiente. Cada mineral pesado apresenta uma paragénese peculiar. É possível associar os minerais pesados com as diferentes rochas fontes. Os minerais pesados associados a rochas metamórficas de alto grau são: andaluzita, epidoto, granada, cianita, titanita, magnetita, sillimanita e estaurolita. Em rochas ígneas ácidas, são comuns ailmenita, magnetita, titanita, monazita, turmalina e zircão. Nas rochas ígneas básicas encontram-se ilmenita, magnetita, rutilo. Em rochas sedimentares retrabalhadas com precipitação química apresentam em sua composição, minerais pesados como a granada, rutilo, turmalina, zircão, hematita e limonita (Couto et al. 1974; Smirnov, 1976).

Existem outros fatores que também influenciam na formação das assembleias de minerais pesados em plataformas continentais. Diferentes espécies de minerais pesados coexistem em um mesmo depósito sedimentar. Para entender essa correlação em depósitos subaquosos é preciso compreender o conceito de equivalência hidráulica sedimentar. A equivalência hidráulica entre diferentes minerais ocorre devido à susceptibilidade ao transporte, ou seja, comportamento análogo entre grãos de diferente granulometria ao saírem da inércia (Slingerland, 1977).

A PCES possui depósitos sedimentares com concentrações maiores do que 1% de minerais pesados, principalmente no setor Plataforma do rio Doce e Plataforma de Abrolhos. Essa característica atribuída aos depósitos os define como placeres e podem apresentar, ou não, viabilidade econômica (Palma, 1979; Silva, 2001). O mineral pesado mais abundante na PCES é a ilmenita (51,3%). A ilmenita possui aplicabilidade industrial, sendo que, sua principal utilidade é na fabricação de pigmentos (Kudrass, 2000).

Para o melhor entendimento dos resultados obtidos, a discussão foi confeccionada de forma fragmentada para cada setor da PCES.

5.1 PLATAFORMA COM PALEOCANAIS

Esse setor da plataforma apresenta regime de acomodação, caracterizado por baixo *input* sedimentar de origem terrígena e a presença marcante de sedimentos biodetríticos autóctones (Bastos et al. 2015). O regime de acomodação é relacionado com o processo de transgressão marinha, ou seja, padrão retrogradacional da linha de costa (Catuneanu, 2006).

Os rios Itapemirim e Itabapoana são importantes agentes de transporte de sedimentos terrígenos para o interior da plataforma. O rio Itapemirim tem a média de transporte de 33,5 mg/L com vazão média de 65,6 m³/s e o rio Itabapoana possui média de transporte de sedimento de 29,4 mg/L com vazão média de 38,4 m³/s (ANA, 2016).

Apesar de haver contribuição desses vetores de transporte, atualmente eles não aparentam possuir capacidade e competência para carrear os minerais pesados, de fração areia, para o depocentro da plataforma. As concentrações mais expressivas limitam-se as áreas próximas à foz desses rios, com valores máximos de 0,8%. Depósitos mais distantes das desembocaduras apresentam concentrações ínfimas e/ ou nulas. Os minerais pesados depositados nas praias, oriundos principalmente do intemperismo e erosão ocorrente nas Falésias (Grupo Barreiras), adentram a plataforma e são retrabalhados e depositados (Schobbenhaus, 1984). Os fatores supracitados tem relação direta com a formação dos depósitos de minerais pesados nesse setor da plataforma, principalmente em áreas proximais.

A porção central da Plataforma com Paleocanais apresenta concentrações de minerais pesados distais à linha de costa, com valores entre 0,1 a 1,1%. Esses depósitos são atípicos justamente pela sua posição geográfica e pela maior concentração de minerais pesados se comparado aos teores encontrados em regiões proximais. No intuito de investigar e compreender a origem desses depósitos distais, foram confeccionados 2 perfis batimétricos correspondentes aos transectos 5 e 7. Cada perfil possui 40 quilômetros de extensão tendo início na isóbata de 10 metros. Os perfis batimétricos são ferramentas uteis para análises e interpretações de padrões morfológicos do fundo marinho (Figura 11).

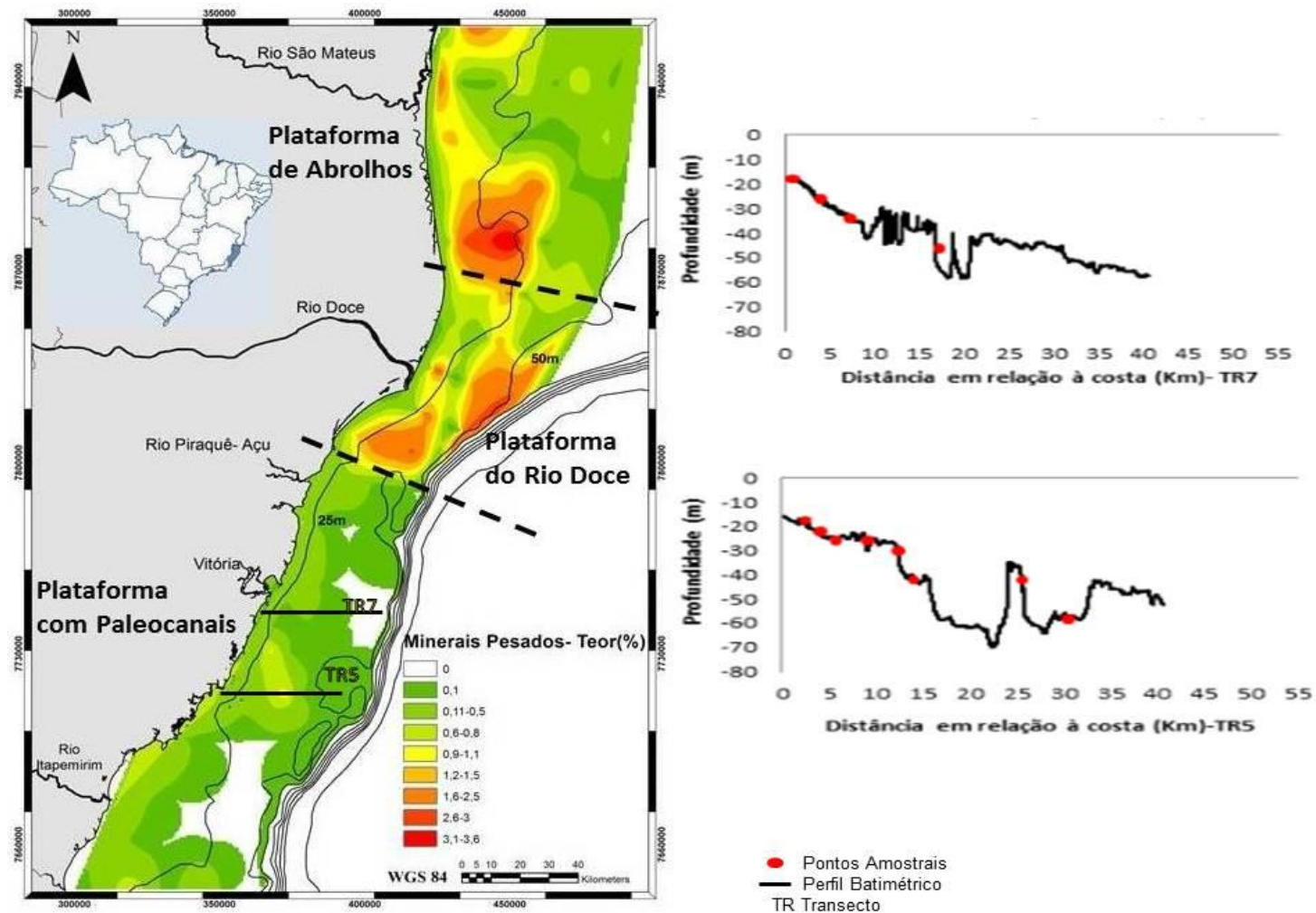


Figura 11: Perfis batimétricos correspondentes ao transectos 5 e 7 relacionado ao mapa de teor de minerais pesados da PCES.

O perfil batimétrico correspondente ao transecto 5 (TR5) revela a heterogeneidade da morfologia de fundo. Foram registrados 2 paleocanais, sendo que, o mais próximo da linha de costa obtém valores aproximados de 15 quilômetros e o segundo de 10 quilômetros de extensão. A distância em relação à linha de costa é de 10 e 25 quilômetros respectivamente. No total foram coletados 4 pontos amostrais dentro dos paleocanais. Foi possível identificar concentração variada de minerais pesados dentro dessas feições, apresentando o valor máximo de 1,1%.

O perfil batimétrico correspondente ao transecto 7 (TR7) apresenta 2 paleocanais. A extensão aproximada dessas duas feições é de 2,5 quilômetros e a distância em relação à linha de costa é de aproximadamente 15 quilômetros. Há 1 ponto amostral inserido no paleocanal. A concentração de minerais pesados nesse depósito está entre 0,11 e 0,5%.

Os depósitos distais de minerais pesados (fração areia) associados aos paleocanais, não estão em sintonia com o atual regime sedimentar desse setor da plataforma. Para esses minerais dá-se o nome de sedimentos relíquias (Emery, 1968). Os paleocanais possivelmente são registros de sedimentação fluvial ocorrido na plataforma durante o Quaternário Tardio associado ao nível relativo de mar baixo.

Se comparado com os demais setores da PCES, a Plataforma com Paleocanais obtém as maiores concentrações de rutilo (78%), turmalina (70%), hematita (46%), monazita (40%), ilmenita (38%). Esses minerais acessórios são encontrados nos litotipos presentes na porção continental adjacente a esse setor da plataforma. Rochas ígneas ácidas e básicas, rochas metamórficas de alto grau, principalmente os kinzigitos, Falésias atribuídas ao Grupo Barreiras (Cenozoico) e consequentemente nas praias adjacentes (Couto et al. 1974; Smirnov, 1976; Tesch, 1984).

A média dos valores de índice ZTR nos depósitos de minerais pesados encontrados na Plataforma com Paleocanais é de 37,3% ($\pm 19,22$). A grande parte dos depósitos de minerais pesados nesse setor é imaturo, pois não possuem valores acima de 75% (Suliman et al. 2015). Geralmente os

depósitos imaturos são associados a sedimentos recém-depositados e pouco retrabalhados.

Apesar do baixo valor médio do índice ZTR em todo setor, existem depósitos pontuais de minerais pesados com valores expressivos desse mesmo índice, por vezes, maiores que 75% caracterizando assim depósitos maduros (Suliman et al. 2015). Maturidade mineralógica pode ser associada à exposição prolongada dos grãos aos agentes intempéricos, resultando maior grau de retrabalhamento e seleção. Os depósitos de minerais pesados associados aos paleocanais apresentam índice ZTR de 77%. Isso ajuda a corroborar com a ideia de que esses minerais foram transportados e depositados preteritamente.

Valores elevados de índice ZTR, de até 77%, foram identificados nos depósitos de minerais pesados próximos a desembocadura do rio Piraquê-Açu. O sistema estuarino Piraquê-Açu e Mirim está associado com a porção “faminta” da plataforma, ou seja, com baixo aporte sedimentar terrígeno (Dominguez, 2009; Bastos et al. 2015). Próximo à desembocadura desse rio, encontra-se os terraços de abrasão. Esses depósitos são associados à morfologia de fundo com alto padrão de rugosidade, depósitos lateríticos e retrabalhamento do Grupo Barreiras (Albino, 1999; Angulo et al. 2006; Bastos et al. 2015). Os terraços de abrasão estão relacionados à antiga linha de costa, ambiente erosivo de alta energia e variação do nível relativo do mar (Brooke et al. 2017). Possivelmente a alta maturidade mineralógica desses depósitos de minerais pesados tem maior relação com ambiente supracitado do que com a *input* sedimentar atual dos rios Piraquê-Açu e Mirim.

5.2 PLATAFORMA DO RIO DOCE

Esse setor da plataforma apresenta regime de suprimento, caracterizado por alto *input* sedimentar de origem terrígena e a presença marcante de sedimentos alóctones (Bastos et al. 2015). O regime de suprimento é relacionado com o processo de regressão marinha, ou seja, padrão progradacional da linha de costa (Catuneanu, 2006).

Quando o tema é a capacidade e competência de transporte sedimentar terrígenos para a plataforma, o Doce é considerado um dos rios mais importantes da América latina (Lima et al. 2005). A média de sedimento transportado chega a 381,1 mg/L com a vazão média de 681,6 m³/s (ANA, 2016). O rio Doce é definido como um delta dominado por ondas (Dominguez, 2009). Por definição, deltas com essa classificação apresentam formato em cúspide e planície costeira caracterizada principalmente pela presença de cordões litorâneos de sedimentação arenosa, formada pela ação das ondas (Fisher, 1969; Weise, 1980; Antony, 2015). As fácies sedimentares submersas relacionadas ao delta do Doce são caracterizadas por depósitos arenosos próximos a desembocadura e lamosos em porções distais (Albino e Suguio, 2010; Quaresma et al. 2015). Não há um consenso sobre a forma que ocorreu a evolução do rio Doce. Um dos primeiros trabalhos a respeito do tema revela que o rio Doce evoluiu protegido por uma ilha barreira, evitando assim, a ação intensificada das forças hidrodinâmicas (Martin et al. 1996). Porém, estudos recentes afirmam que esse rio evoluiu desprotegido e sujeito a ações hidrodinâmicas constantes, principalmente por ação das ondas (Rossetti et al. 2015). Independente da forma como evoluiu, é de senso comum que havia uma antiga foz ao norte da foz atual (Martin et al. 1997; Rosseti et al. 2015).

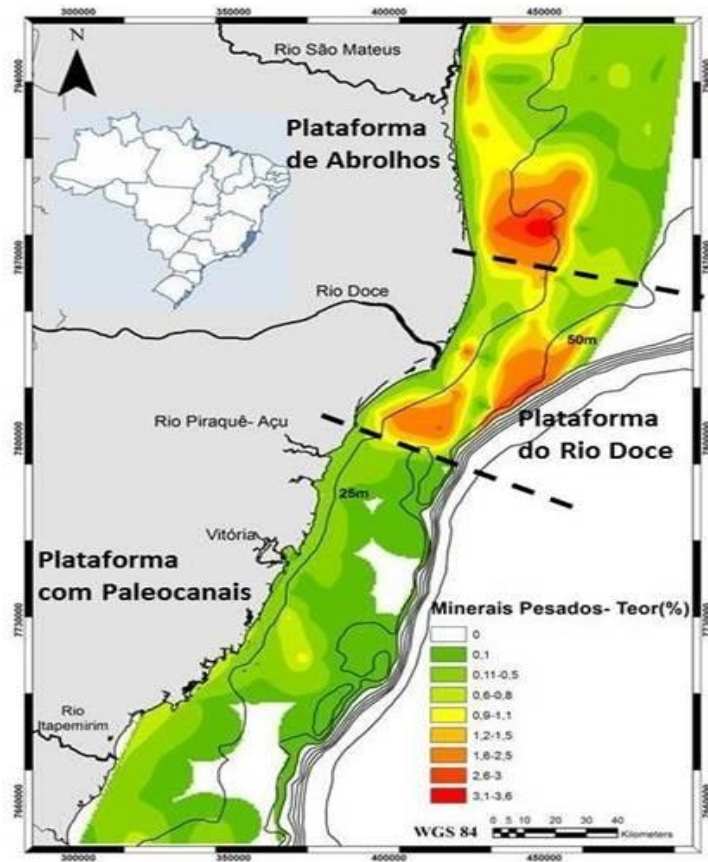
Nesse setor da plataforma, a concentração de minerais pesados na fração areia varia de 0,1 a 3,0%. Os depósitos mais expressivos são distais e se encontram, também, próximos à quebra da plataforma. Apesar da grande capacidade e competência do rio Doce de carrear sedimentos terrígenos para a plataforma, os depósitos com maiores concentrações de minerais pesados não aparentam estar em sintonia com a atual dinâmica sedimentar do Doce. A região submersa dos deltas apresenta como característica deposicional, sedimentos arenosos na porção proximal e lamosos no segmento distal (Prastson et al. 2007). Esses depósitos possivelmente tem relação com antigos padrões de sedimentação do rio Doce associados com rebaixamento do nível relativo do mar ocorrido no Quaternário Tardio.

Se comparado com os demais setores da PCES, a Plataforma do rio Doce apresenta as maiores concentrações de magnetita (62%), limonita (59%), epidoto (58%), estaurolita (51%), sillimanita (48%), zircão (45%), titanita (43%),

granada (35%). Das 15 diferentes espécies de minerais pesados catalogados na PCES, 8 delas foram encontradas em maior quantidade na Plataforma do rio Doce. Isso se deve, possivelmente, pela alta capacidade e competência do rio Doce de carrear sedimentos terrígenos para a plataforma, tanto no presente quanto no passado. As possíveis áreas fontes desses minerais pesados são as rochas ígneas e metamórficas adjacentes a esse setor (Couto et al. 1974; Smirnov, 1976; Tesch, 1984).

A média dos valores de índice ZTR nos depósitos de minerais pesados encontrados na Plataforma do rio Doce é de 41,2% ($\pm 17,9$). Apesar de esse setor possuir o maior valor médio de índice ZTR se comparado com os demais, ainda sim, grande parte dos depósitos de minerais pesados da Plataforma do rio Doce são classificados como imaturos, já que apresentarem valores superiores a 75% (Suliman et al. 2015). Apesar do valor médio do índice ZTR possuir o valor abaixo de 75%, existem depósitos com maturidade mineralógica nesse setor. Ao comparar o mapa de teor de minerais pesados na PCES com o mapa de valores de índice ZTR, percebeu-se que os depósitos de minerais pesados com teores mais expressivos (entre 0,9 e 3%) são os que apresentam os maiores índices ZTR (77%) (figura 12). Isso corrobora com a ideia que os depósitos com maiores concentrações de minerais pesados correspondem a sedimentos relíquias, já que, valores de índice ZTR acima de 75% correspondem a depósitos maduros (Suliman et al. 2015).

MAPA DE TEOR DE MINERAIS PESADOS (PCES)



MAPA DE VALORES DE ÍNDICE ZTR (PCES)

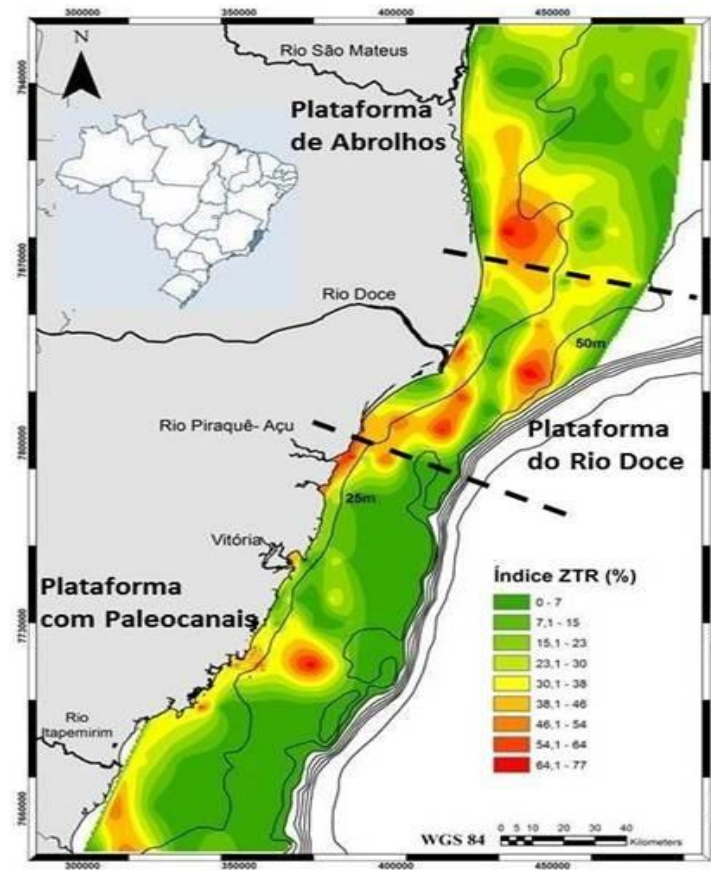


Figura 12: Comparação entre o mapa de teor de minerais pesados na PCES e mapa de valores de índice ZTR na PCES.

5.3 PLATAFORMA DE ABROLHOS

Nesse setor há uma complexa interação entre sedimentos terrígenos e carbonáticos. Atualmente o rio São Mateus é o mais importante em relação ao transporte e contribuição de sedimentos terrígenos para a Plataforma de Abrolhos. Esse rio possui a média de transporte sedimentar de 129,9 mg/L e a vazão média de 69,9 m³/s (ANA, 2016).

Os teores de minerais pesados na Plataforma de Abrolhos variam de 0,1 a 3,6%. No extremo norte desse setor, os depósitos proximais apresentam teores máximos de 3%, possivelmente relacionados com retrabalhamento dos sedimentos de praia, oriundos principalmente devido ao intemperismo e erosão do Grupo Barreiras e transporte fluvial contemporâneo do rio São Mateus. Já em depósitos distais, os teores de minerais pesados possuem o valor máximo de 0,5%. Ao sul desse setor, estão localizados os depósitos de maior teor de minerais pesados em toda a PCES, com valores de até 3,6%. Possivelmente essa deposição sedimentar não tem ligação com os sedimentos carregados pelo rio São Mateus, principalmente pela distância do depósito em relação à foz. Uma sugestão seria que esses depósitos estariam relacionados justamente a paleo desembocadura do rio Doce localizada ao norte da desembocadura atual.

Se comparado com os demais setores da PCES, a Plataforma de Abrolhos apresenta as maiores concentrações de cianita (67%) e andaluzita (47%). Esses minerais pesados são de origem metamórfica e provavelmente tem como áreas fontes as rochas metamórficas de alto grau que compõe o embasamento (Couto et al. 1974; Smirnov, 1976; Tesch, 1984).

A média dos valores de índice ZTR nos depósitos de minerais pesados encontrados na Plataforma de Abrolhos é de 33,5% ($\pm 7,7$). Grande parte dos depósitos de minerais pesados da Plataforma de Abrolhos são classificados como imaturos por não apresentarem valores superiores a 75% (Suliman et al. 2015). Apesar do valor médio do índice ZTR possuir o valor abaixo de 75%, existem depósitos que apresentam maturidade mineralógica nesse setor. Assim como na Plataforma do rio Doce, a Plataforma de Abrolhos possui valores elevados de índice ZTR (77%) em depósitos de maior concentração de

minerais pesados (3,6%). A alta maturidade mineralógica está associada com sedimentos expostos a ação dos agentes intempéricos por longo tempo. Isso corrobora com a ideia de que esses depósitos de minerais pesados mais expressivos não estejam relacionados com sedimentos “recentes” oriundos do rio São Mateus. É possível que os depósitos de minerais pesados, na fração areia, com concentrações de até 3,6% estejam relacionados com sedimentos relíquias associados ao transporte sedimentar paleo fluvial. Levando em consideração que o rio Doce é o vetor que possui maior capacidade e competência para transportar sedimentos terrígenos para a PCES, possivelmente estão correlacionados esses depósitos de maior teor. Uma das indicações, além dos estudos (Martin et al. 1997; Rosseti et al. 2015), seria a morfologia da costa que apresenta uma protuberância que poderia estar justamente ligada a presença de uma paleo desembocadura, como pode ser observado próximo desses depósitos descritos (Figura 12).

6. CONCLUSÕES

Os setores Plataforma do rio Doce e Plataforma de Abrolhos apresentam características semelhantes quando o assunto é distribuição espacial e teor de minerais pesados nos depósitos sedimentares. Em contrapartida, os depósitos de minerais pesados presentes no setor Plataforma com Paleocanais possuem características peculiares que os diferencia dos demais.

Os minerais pesados presentes na PCES, na fração areia, são: ilmenita (51,3%), limonita (10,4%), sillimanita (9,2%), zircão (6,1%), turmalina (5,3%), epidoto (4,1%), monazita (2,9%), hematita (2,6%), magnetita (1,9%), granada (1,7%), estaurolita (1,3%), rutilo (1,2%), titanita (1,0%), andaluzita (0,7%) e cianita (0,5%). Todos esses minerais apresentam paragénese compatíveis com as rochas sedimentares, ígneas e metamórficas encontradas nas adjacências da área de estudo.

Dentre as 15 espécies de minerais pesados catalogadas, 8 foram encontradas em maior abundância na Plataforma do rio Doce: Magnetita (62%), limonita (59%), epidoto (58%), estaurolita (51%), sillimanita (48%), zircão (45%), titanita (43%), granada (35%). Isso reflete a importância do rio Doce na contribuição quantitativa e qualitativa de minerais pesados para a PCES.

Os depósitos mais expressivos de minerais pesados apresentam teores máximos de até 3,6% e foram encontrados nos setores Plataforma do rio Doce e Plataforma de Abrolhos. Esses placeres marinhos possivelmente foram formados devido ao transporte fluvial pretérito do rio Doce relacionado ao rebaixamento do nível relativo do mar. Na Plataforma com Paleocanais, os minerais pesados em depósitos proximais tem relação com retrabalhamento da linha de costa atual e pretérita, além de transportes fluviais contemporâneos. Já os depósitos distais são relacionados com paleocanais também associados com nível de mar baixo e consequentemente seus depósitos de minerais pesados estariam relacionados à dinâmica desses canais em nível de mar abaixo do atual.

A interpretação do índice ZTR, associado com a localização geográfica dos depósitos de minerais pesados e conhecimento geológico da área de estudo mostraram que os depósitos com maiores concentrações de minerais pesados podem estar relacionados com sedimentos relíquias. Porém há minerais pesados “recentes”, encontrados principalmente próximos à linha de costa atual associado à descarga fluvial contemporânea e retrabalhamento das praias e falésia da formação barreiras por ação das ondas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albino, J., 1999. Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES. Tese em geociência. Programa de Pós Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 171p.

Albino, J., Girardi, G., Nascimento, A.K., 2006. Atlas de erosão e progradação do litoral brasileiro: Espírito santo. In: Muehe, D., Atlas de erosão e progradação do litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente.

Albino, J., Suguio, K., 2010. Sedimentation processes and beach morphodynamics active at the Doceriver mouth, Espírito Santo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 82(4): 1031-1044.

Almeida, F.F.M., 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociência*. 23(7): 349-364.

Ana Agência Nacional de Águas., 2016. Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio Doce. Ministério do Meio Ambiente.

Angulo, R.J., Lessa, G.C., Souza M.C., 2006. A critical review of mid- to late- Holocene sea- level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*. 25: 486-506.

Antony, E.J., 2015. Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review. *Marine Geology*. 361: 53-78.

Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Marangoni, M.B., D'Agostini, D.P., Bourguignon, S.N., Cetto, P.H., Silva, A.E., Amado Filho, G.A., Moura, R.L., Collins, M., 2015. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. *Journal of South American Earth Sciences*. 63: 125-136.

Bates, R.L., Jackson, J.A., 1980. Glossary of geology. American Geological Institute. 751p.

Brooke, B.P., Nichol, S.L., Huang, Z., Beaman, R.J., 2017. Palaeoshorelines on the Australian continental shelf: Morphology, sea-level

relationship and applications to environmental management and archaeology. *Continental Shelf Research*.134: 26-38.

Catuneanu, O., 2006. Principles of sequence stratigraphy.Elsevier Science. 375p.

Couto, P.A., Gomes, A.P., Neto, R.A., 1974. Pesquisa de minerais pesados no litoral de Itabapoana- RJ. CPRM. Vol.1.

Cprm Serviço Geológico do Brasil., 2004., Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Folhas SF24 (Vitória) e SE 24 (rio Doce).

Cprm Serviço Geológico do Brasil., 2013. Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo, Projeto Geologia e Recursos Minerais de Estado do Espírito Santo, Ministério de Minas e Energia.

Dias, J.A., 2004. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Universidade de Algarve. 84p.

Dominguez, J.M.L., 2009. The coastal zone of Brazil. In: Dillenburg, S., Hesp, P.A., *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. Springer. Heidelberg, 17-51.

Dominguez, J.M.L., Silva, R.P., Nunes, A.S., Freire, A.F.M., 2013. The narrow, shallow, low-accomodation shelf of central Brazil: Sedimentology, evolution, and human uses. *Geomorphology*.203:46-59.

Emery, K.O., 1968.Relict sediments on continental shelves of world.*Bulletin of the American association of petroleum geologists*.52: 445-464.

Fisher, W. L.,1969. Facies characterization of Gulf coast basin delta system, with some Holocene analogues.*Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*. 19: 239-261.

Galehouse, J.S., 1971. Sedimentation analysis. In: Carver, R.E., *Procedures in sedimentary petrology*. 653p.

Gao, S., Collins, M.B., 2014. Holocene sedimentary systems on continental shelves.*Marine Geology*.352: 268-294.

Heilbron, M., Soares, A.C.P, Campos, M.C.N., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.A., 2004. Província Mantiqueira. In: Neto, V.M.M., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Neves, B.B.B., *Geologia do continente Sul- Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. 203-234.

Hubert, J.E., 1962. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *Journal Sedimentary Petrology*. 32: 440-450.

Johnson, H.D., Baldwin, C.T., 1996. Shallow clastic seas. In: Reading, H.G., *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science, Oxford. 232-280.

Kudrass, H.R., 2000. Marine placer deposits and sea-level changes. In: Cronan, D.S., *Handbook of Marine Mineral Deposits*. 3-12.

Li, G., Yan, W., Zhong, L., Xia, Z., Wang, S., 2015. Provenance of heavy mineral deposits on the northwestern shelf of the South China Sea, evidence from single- mineral chemistry. *Marine Geology*. 363: 112-124.

Lima, J.E.F.W., Lopes, W.T.A., Carvalho, N.O., Vieira, M.R., Silva, E.M., 2005. Suspended sediment fluxes in the large river basins of Brazil. *Sediment Budgets*. 355-363.

Lisitzin, E., 1974. *Sea level changes*. Elsevier Science. 285p.

Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.M., Archanjo, J.D., 1996. Coastal Quaternary formations of the Southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciência*. 68(3): 389-404.

Martin, L., Suguio, K., Dominguez, J.M., Flexor, J., 1997. *Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. CPRM. 112p.

Morton, A.C., Hallsworth, C., 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstone. *Sedimentary Geology*. 124: 3-29.

Mount, J. F., 1984. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments. *Geology*. 12(7): 432-435.

Oliveira, T.C.A., Albino, J., Venancio, I.D., 2015. Transporte longitudinal de sedimentos ao longo da planície deltaica do rio Doce. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 6(1): 20-25.

Palma, J.J.C., 1979. Depósitos de minerais pesados. Série projeto Remac. Petrobras/DNPM/CPRM/DHN/CNPQ. 10: 33-50.

Pettijohn, F.J., 1957. *Sedimentary rocks*. Harper e Brothers. 718p.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1973. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag. 618p.

Pratson, L.F., Nittrouer, C.A., Wiberg, P.L., Steckler, M.S., Swenson, J.B., Cacchione, D.A., Karson, J.A., Murray, A.B., Wolinsky, M.A., Gerber T.P., Mullenbach, B.L., Spinelli, G.A., Fulthorpe C.S., O'grady, D.B., Parker, G., Driscoll, N.W., Burger, R.L., Paola, C., Orange, D.L., Field, M.E., Friedrichs C.T., Fedele, J.J., 2007. Seascape evolution on clastic continental shelves and slopes. In: Nittrouer, C.A., Autin, J.A., Field, M.E., Kravitz, J.H., Syvitski, J.P.M., Wiberg, P.L., *Continental Margin Sedimentation*. 37: 339.

Qin, Y.C., Xue, C., Jiang, X., 2018. Tidal current- dominated depositional environments in the central- northern Yellow sea as revealed by heavy- mineral and grain- size dispersals. *Marine Geology*. 398: 59-72.

Quaresma, V.S., Catabriga, G., Bourguignon, S.N. Godinho, E., Bastos, A.C., 2015. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. *Brazilian Journal of Geology*. 45(4): 44-635.

Rossetti, D.F., Polizel, S.P., Cohen, M.C.L., Pessenda, L.C.R., 2015. Late Pleistocene- Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: implications for the understanding of wave- influenced deltas. *Marine Geology*. 367: 171-190.

Schobbenhaus, C., Campos, D.A., 1984. A evolução da plataforma sul-americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: Schobbenhaus, C., *Geologia do Brasil*. DNPM. 9-49.

Silva, C.G., 2001. Pláceres Marinhos. Revista Brasileira de Geofísica. 18(3): 327-336.

Silva, M.J., Lima, C.O.M., Veronese, V.F., Junior, R.N.R., Rocha, M.R., Junior, S.O., 1987. Folha SE 24 Rio Doce. Projeto Radam Brasil. 34.

Slingerland, R.L., 1977. The effect of entrainment on the hydraulic equivalence relationship of light and heavy minerals in sands. Journal of Sedimentary Petrology. 47(2): 753-770.

Smirnov, V.I., 1976. Geology of mineral deposits. Mir Publishers. 520p.

Suguio, K., 2003. Geologia Sedimentar. Editora EdgardBlucher Ltda. 400p.

Suliman, M.M., Ibrahim, I.S., Elfaki, J.T., Allah, M.S.D., 2015. Origin and distribution of heavy minerals in the surficial and subsurficial sediments of the alluvial Nile river terraces. Open Journal of Soil Science. 5(12): 299-310.

Swift, D.J.P., Thorne, J.A., 1991. Sedimentation on continental margins, I: a general model for shelf sedimentation. In: Swift, D.J.P., Oertel, G.F., Tillman, R.W., Thorne, J.A., Shelf sand and sandstones bodies: geometry, facies and sequence stratigraphy. Association of Sedimentologists. 14: 89-152.

Tesch, N.A., 1984. Projeto minerais pesados na costa do Espírito Santo. Relatório final área emersa, CPRM. 1: 100.

Tessler, M.G., Mahiques, M. M., 2001. Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos. In: Teixeira, W., Toledo, M.C.M., Fairchild, T.R., Taioli, F., Decifrando a Terra. 1: 264-286.

Tomazelli, L.J., 1978. Minerais pesados na plataforma continental do Rio Grande do sul. Acta Geológica Leopoldensia. 2: 103-159.

Tucker, M. E., Wright, P. V., 1990. Carbonate Sedimentology. Oxford. 482p.

Van Gosen, B.S., Fey, D.L., Shah, A.K., Verplanck, P.L., Hoefen, T.M., 2014. Deposit model for heavy- mineral sands in coastal environments. U.S. Geological Survey. 2010-5070-L: 51p.

Vieira, F.V., 2017. Sedimentação da plataforma continental do Espírito Santo: Do aporte terrígeno à ocorrência de fundos recifais. Dissertação de mestrado. Programa de pós- graduação em oceanografia ambiental UFES. 85p.

Vital, H., Guedes, I.M.G., 2000. Heavy minerals of the inner continental shelf offshore the Açu river's delta (northeastern Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*. 3: 457-459.

Voulgaris, G., Collins, M.B., 2000. Sediment resuspension on beaches: response to breaking waves. *Marine Geology*. 167: 129-147.

Weise, B.R., 1980. Wave dominated delta systems of the Upper Cretaceous San Miguel Formation, Maverick Basin, south Texas. *Bulletin of the Economy Geology of the University of Texas*. 107: 42.

8. ANEXOS

Anexos disponíveis em formato digital.